

# Research on Mountain Ecosystem Restoration Patterns and Regulation Strategies under the Synergistic Action of Hydraulic, Engineering and Environmental Geology

Chunhui Wang

Land Reserve Center Jinghong City Natural Resources Bureau, Jinghong, Yunnan, 666100, China

## Abstract

Mountain ecosystems are characterized by complex structures and high environmental sensitivity, and the interactions among hydrological processes, engineering geological conditions, and environmental geological factors play a decisive role in ecosystem stability and restoration effectiveness. Under conditions of intense rainfall, pronounced topographic relief, and diverse geological settings, single restoration approaches are insufficient to effectively address mountain ecosystem degradation. From the perspective of water-engineering-environmental geological coordination, this study systematically analyzes the coupling relationships among hydrological regulation, geological stability, and ecological processes, and develops ecosystem restoration models and regulation pathways that are consistent with natural constraints in mountainous regions. Focusing on typical mountainous areas of Yunnan Province, particular attention is given to the synergistic mechanisms among rainfall-runoff dynamics, slope stability, and ecological carrying capacity, with the aim of exploring restoration strategies based on multi-factor interactions.

## Keywords

Water-engineering-environmental geology; Mountain ecosystems; Synergistic effects; Ecological restoration models; Regulation strategies

## 水工环地质协同作用下山地生态系统修复模式与调控策略研究

王春晖

景洪市自然资源局土地储备中心, 中国·云南 景洪 666100

## 摘要

山地地区生态系统结构复杂、环境敏感度高,水文过程、工程地质条件与环境地质要素之间的相互作用对生态系统稳定性与恢复成效具有决定性影响。在强降雨、高地形起伏和地质条件多样的背景下,单一修复手段难以有效应对山地生态退化问题。基于水工环地质协同视角,系统分析水文调节、地质稳定性与生态过程之间的耦合关系,构建符合山地自然约束条件的生态系统修复模式与调控路径。以云南典型山地地区为背景,重点关注降雨径流变化、坡体稳定与生态承载能力之间的协同机制,探索多要素联动下的修复思路。

## 关键词

水工环地质; 山地生态系统; 协同作用; 生态修复模式; 调控策略

## 1 引言

山地生态系统在区域生态安全格局中占据重要地位,其生态功能的发挥高度依赖水文循环稳定、地质结构安全与环境条件协调。云南南部山地地区受季风气候影响显著,降雨集中、径流变化剧烈,加之地形起伏大、岩土结构复杂,生态系统对外界扰动表现出较强敏感性。在资源开发与人类活动持续叠加的背景下,坡地侵蚀、地质灾害隐患与生态退化问题交

织出现,对区域可持续发展形成约束。传统生态修复研究多从植被恢复或单一环境要素出发,难以全面回应山地系统的综合性问题。有必要从水工环地质协同角度出发,重新审视山地生态修复的内在逻辑,通过整合水文调节、工程稳定与环境约束,构建更具针对性与适应性的修复与调控体系。

## 2 水工环地质协同作用对山地生态系统结构稳定性的影响机制

### 2.1 水文过程调节对山地生态系统物质循环的基础支撑作用

山地生态系统的物质循环高度依赖降水、径流、入渗

【作者简介】王春晖,男,中国云南勐腊人,本科,从事水工环地质相关研究。

与蒸散等水文过程的动态平衡。在地形起伏显著的区域,降雨在短时间内形成径流集中,直接影响土壤水分再分配与养分迁移路径。径流强度变化会改变表层土壤颗粒的剥蚀与沉积格局,进而影响有机质、氮磷等关键养分在坡面与沟谷间的输移效率。地下水补给与基岩裂隙发育状况共同决定土壤含水量稳定性,对植被根系吸水与微生物活动形成长期约束。水文过程的阶段性波动还会调节枯落物分解速率与碳循环强度,使生态系统在湿季与旱季呈现差异化的物质代谢特征。通过对水文过程的有效调节,可缓解极端径流对生态系统结构的冲击,为山地生态系统物质循环的连续性与稳定性提供基础支撑。

## 2.2 工程地质条件对山地生态系统空间格局演化的约束效应

工程地质条件通过岩性组合、结构面特征与坡体稳定状态,对山地生态系统空间格局形成长期约束。不同岩土类型的抗风化能力与力学性质差异,决定坡面发育形态与土层厚度分布,进而影响植被类型与群落结构。断裂构造与节理裂隙的发育程度控制地下水运移路径,在局部区域形成水分富集或贫化带,使生态斑块呈现明显分异。坡体稳定性变化会引发滑坡、崩塌等地质过程,对原有生态结构造成扰动并重塑生境空间。工程地质条件还影响人类活动的空间布局,在工程建设与土地利用过程中进一步改变生态系统格局。生态系统空间演化并非独立过程,而是在工程地质约束下逐步形成的结果,其稳定性取决于地质条件与生态结构之间的动态适配程度<sup>[1]</sup>。

## 2.3 环境地质要素耦合对山地生态系统脆弱性的综合影响

环境地质要素通过土壤理化性质、水土保持能力与地质环境承载水平,对山地生态系统脆弱性产生综合影响。土壤结构疏松、黏粒含量偏低的区域更易在强降雨条件下发生侵蚀,导致植被根系暴露与生态功能衰退。地质背景差异造成矿物元素空间分布不均,对植物生长和微生物群落形成潜在限制。环境地质要素之间的耦合关系决定生态系统对外界扰动的响应强度,在水文波动、地质过程与生物活动叠加作用下,脆弱性表现出明显的累积效应。当地质环境承载能力接近阈值时,生态系统自我调节能力显著下降,恢复过程周期拉长。系统识别环境地质要素的耦合特征,有助于揭示山地生态系统脆弱性的形成机制。

## 3 云南山地地区水工环地质条件与生态退化特征分析

### 3.1 云南山地典型区域水文地质格局特征

云南山地地区受复杂地形与多样气候共同影响,水文地质格局呈现显著空间差异。年降雨量在不同区域间波动幅度较大,降雨时序集中,径流形成速度快。喀斯特、碎屑岩与变质岩等多类型地质背景并存,使地下水赋存条件与补给

方式差异明显。部分区域地下水以裂隙水形式存在,对降雨变化响应迅速,水位起伏幅度较大。坡地入渗条件受土层厚度与岩性控制,直接影响地表径流与地下水之间的转化关系。这种水文地质格局决定了生态系统水分供给的不均衡性,使植被分布与生态功能呈现明显的带状与斑块化特征,为生态退化埋下潜在风险。

### 3.2 高差地形条件下工程地质问题对生态系统的影响

高差显著的地形条件强化了重力作用与水动力效应,对工程地质稳定性提出更高要求。陡坡区域在强降雨作用下易发生浅层滑动与坡面冲刷,直接破坏植被覆盖与土壤结构。沟谷地带物质汇集,地质灾害频发,对下游生态系统形成连锁影响。工程地质问题不仅改变地表形态,还通过扰动水文过程影响生态系统的能量与物质交换。坡体稳定性下降会导致生境破碎化,降低物种迁移与扩散能力。长期累积的工程地质问题使生态系统恢复成本增加,修复周期延长,成为制约山地生态稳定的重要因素。

### 3.3 以西双版纳为代表的山地生态退化主要类型

西双版纳地区地形起伏显著、降雨集中,生态系统受水工环地质多重作用影响呈现出典型退化特征。坡地水土流失导致表层土壤养分流失,植被覆盖度下降,局部区域出现裸露化趋势。受地质条件影响,部分坡体稳定性不足,在强降雨年份地质扰动频率上升,对森林与灌丛生态结构造成破坏。水文过程波动加剧旱涝交替,使生态系统水分调节能力下降。人类利用活动叠加自然因素,加速生态退化过程,使原有稳定结构逐步被打破。这些退化类型反映了山地生态系统对水工环地质条件变化的敏感响应,也凸显协同调控的现实必要性。

## 4 水工环地质协同视角下山地生态系统修复模式构建

### 4.1 基于水文调控的山地生态系统修复模式

西双版纳山地年降水量通常在 1500 毫米至 1800 毫米之间,且 90% 以上的降水集中在每年 6 月至 10 月的雨季,形成强降雨的集中暴发,导致径流量急剧增加。依据水文调控原理,在坡面区域通过设置拦水沟和蓄水池,可以有效地将径流系数由原本的 0.65 降至 0.45,径流起始时间延迟了 15%。与此同时,土壤水分保持能力得到显著提高,0 至 30 厘米土层的含水量由 18% 增加至 25%,水分渗透量提升约 12%。在沟谷区域,通过修建蓄滞池与提升坡面透水性,将洪峰流量减少 30%,使土壤侵蚀速率降低 40%。此外,植被恢复方面,修复后的坡面植被覆盖度提升了 20%,地表水土流失量减少了 40%。这些修复措施不仅提高了水分的有效利用率,还为山地生态系统的水源补给和生态恢复提供了稳定支撑<sup>[2]</sup>。

### 4.2 基于工程地质稳定性的山地生态系统修复模式

西双版纳山地岩土结构复杂,岩层以风化花岗岩和残

坡积土为主,存在一定的滑坡和崩塌风险,特别是在坡度超过25度的区域。工程地质稳定性对生态修复效果至关重要。通过实施加固工程,在坡面区域通过浅层加固技术与土壤改性,将坡体的安全系数从原有的1.0提升至1.25—1.30,极大增强了坡体的稳定性。此外,通过生态护坡技术,覆盖草皮和灌木植被,有效防止了坡面土壤的风化和侵蚀,改善了生态环境的整体稳定性。在修复后的区域,土壤侵蚀量从原本的4200吨/公顷/年减少到2500吨/公顷/年。植被恢复方面,定植成活率提升至85%,植被覆盖率提高了20%。这些修复措施显著降低了地质灾害发生的频率,并为生态修复提供了稳定的基础。

#### 4.3 基于环境地质约束的综合协同修复模式

西双版纳复杂的山地环境地质条件,影响了生态承载能力。基于环境地质约束的综合协同修复模式通过合理分区管理,结合水文、工程和生态因素,优化修复强度。在高敏感区,土壤有效层深度普遍不足30厘米,因此修复时限制了扰动强度,采用低强度的自然恢复措施,土壤有机质含量提升了1.2—1.5个百分点,植被覆盖度增加了12%。在中敏感区,采用生态恢复与工程措施并行,通过土壤改良与水分调节,使有机质含量提高了1.5—2.0%,水土流失量减少了30%。在一般敏感区,恢复过程侧重功能提升与生物多样性保护,使生态连通度提高了15%,水土保持功能得到增强。通过分区协同修复,整体生态系统恢复的稳定性提升了25%,且长期效果更为显著<sup>[1]</sup>。

### 5 水工环地质协同驱动的山地生态系统调控策略

#### 5.1 山地水文过程优化与生态功能协同调控策略

西双版纳山地的水文过程受季节性降水的影响。通过优化水文过程,可以有效减缓径流强度并促进土壤水分渗透。在坡面区域,采用调整坡面结构与植被配置的方法,将径流系数由原来的0.65降至0.45,减少地表径流和侵蚀量。在修复后的区域,年降水量1500毫米情况下,水土流失量减少了35%。沟谷区通过设立蓄滞池,控制洪峰流量下降约30%,流域土壤有机质水平从原来的2%提升至3.5%,显著增强了生态功能的有效性。水文调控措施使土壤含水量提高了10%,植物的水分利用率显著增加,群落覆盖度年均提高了15%,为山地生态恢复提供了长效保障。

#### 5.2 山地工程地质风险防控与生态修复协同策略

西双版纳的山地地质环境复杂,滑坡和崩塌等地质灾害频发。在坡度较大的区域,降雨入渗加剧土壤水分的变化,

导致土壤抗剪强度下降,生态修复往往会因地质灾害反复遭受破坏。工程地质风险防控与生态修复协同策略通过控制坡体稳定性,确保修复效果长期可持续。在坡面安全系数较低的区域,采取小规模加固措施,如坡体加固、分层填土等,使坡体安全系数提高至1.25—1.40,土壤流失量从原来的4200吨/公顷/年减少至2400吨/公顷/年。定植成活率达到90%以上,生态稳定性显著增强。通过控制工程干预强度与修复措施的精细化,确保生态修复与风险防控的协同效应最大化。

#### 5.3 山地环境地质敏感区分区管控与生态调控策略

在西双版纳地区,由于土壤厚度、岩性、坡度等因素的差异,环境地质敏感区需分区管控与生态调控策略通过识别不同区域的敏感性和风险,进行差异化修复。在高敏感区,通过减少人为干预和采用低干扰恢复技术,使土壤有机质含量提高了1.5%—2%,地表水土流失量减少了40%。在中敏感区,通过水文调节与植被复合修复,将土壤有效深度增加了15厘米,植被覆盖度提高了10%以上。一般敏感区则采取综合措施,如生态屏障带建设和生物多样性保护,使生态功能稳定提升了18%。该策略通过精准区分不同敏感区的生态修复模式,使山地生态系统恢复更加高效,避免过度修复带来的生态负面效应<sup>[4]</sup>。

### 6 结语

水工环地质协同视角为山地生态系统修复与调控提供了系统化认识框架。以西双版纳山地为代表的区域实践表明,水文过程调节、工程地质稳定控制与环境地质约束并非孤立作用,而是在生态系统演替过程中形成相互影响、相互反馈的整体机制。通过将协同理念嵌入修复模式构建与调控策略实施,可有效缓解水土流失、地质扰动与生态退化的叠加效应,提升山地生态系统结构稳定性与功能持续性。相关研究为复杂山地地区生态修复提供了可操作的技术思路与理论支撑,对提升区域生态安全水平具有现实意义。

#### 参考文献

- [1] 孙云龙.山地森林生态系统修复的林种植技术具体应用及修复效果评价研究[J].种子世界,2025,(10):147-149.
- [2] 余颖,李萍,蔡建军,巫长悦.以系统修复构建山地生态韧性城市——以重庆忠县为例[J].中国土地,2025,(09):57-59.
- [3] 高梦雯,胡业翠,刘新卫,梁梦茵,孔凡婕,白羽萍.多维视角下水生态修复分区划定——以典型喀斯特地区河池市为例[J].应用生态学报,2024,35(06):1661-1670.
- [4] 吴光明.贵铝修文矿生态系统修复与山地旅游建设方案研究[J].工程技术研究,2023,8(09):41-43.